

「低炭素社会の構築とものづくりの果たす役割」(講演要旨)

財団法人地球環境産業技術研究機構副理事長・研究所長 茅 陽一氏

地球温暖化に対する懐疑論とその問題点

温暖化が議論され始めて久しくなりますが、温暖化による深刻な問題が伝えられる一方で、「温暖化は、たまたま起きている自然現象なのではないか?」あるいは「温暖化は、本当にCO₂のせいなのか?」など、いわゆる懐疑論があることも事実です。

アラスカ大学のアカソフ名誉教授は、「温暖化は、人間が出した温室効果ガスによって起きているのではなく、自然のサイクルの一環ではないか」という見解を示しています。デンマークのセシルという気象学者や東工大の丸山教授は、「温暖化の原因はCO₂の増加によるものではなく、太陽黒点の変化に関係して宇宙線にも変化が生じ、地球上の低い位置にある雲が変わったためだ」と

の説を主張しています。セシルが使

った、1860年から現在までの地球の温度変化のグラフには、温度変化の周期と、太陽黒点が増える周期が記されています。グラフ上、この二つの周期は連動しています。特に、1940年から1970年ごろの30年間にかけて地球の温度が大きく下降傾向を示しています。実は、この間、CO₂は増えている。それにも関わらず温度が下がったということで、温暖化とCO₂は関係がないと言っているわけです。これに対して、太陽黒点が増える周期とは合致している。このような理由で、太陽の放射線の変化が温暖化に影響しているのではないかと説が力を持つてくるのです。

しかし、懐疑論には科学的に問題視すべき点もあります。これは一つの例です。アカソフ名誉教授は、「温

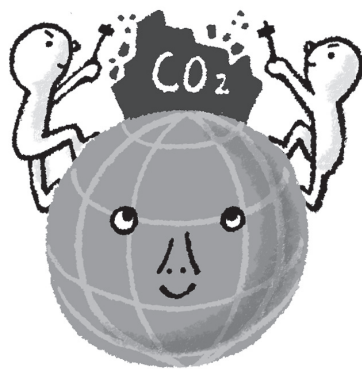
暖化は自然の影響だ」と言っ

ていますが、過去1000年の地球の温度上昇を示しているグラフを見ると、最近の100年で急激に地球の温度が上昇していることが分かります。一般的に見て、これを自然の影響と考えると、これを超えるのかどうか。直感的に考えて、最近100年での急上昇は不自然であると考えるのが普通です。また、セシルや丸山教授の説についても、科学的な問題点が二つあります。グラフにおける1970年以降のところを見ると、この30年間で温度は上がりっぱなしになっています。ところが、放射線には大きな変化がない。つまり、この部分だけ連動できていません。直近40年のところだけが連動していないというのは不自然です。もう一つの

問題点は、このグラフの1945年前後に起きている、急激な温度の低下に関連しています。2008年5月の「Nature」という科学雑誌に載った論文によると、1940年から1960年にかけて、海の温度の計測はイギリスとアメリカの船で行われていたとのこと。そして、注目すべきは1945年に、それまでアメリカが計測していたものをイギリスに交代したという点です。なぜならアメリカ船とイギリス船とで



茅 陽一氏



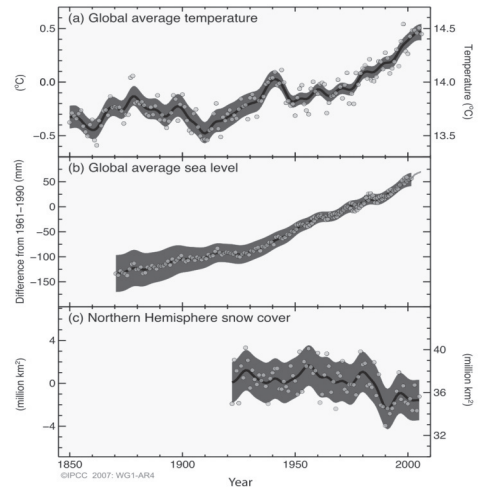
特集

グローバル危機と
ものづくり産業再生への道筋

懐疑論の持つリスクと
中期目標の重要性

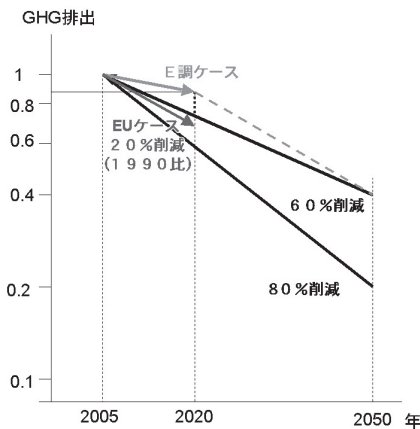
いずれにしても、懐疑論について、最も重要視しなければならぬことは、それが持つ「リスク」です。

は温度測定の方法が違っていたのです。アメリカ船のほうはエンジンルームの近くで測定していたのですが、イギリス船のほうはできるだけエンジンルームから離れたところで測定すべきだという理由で、海面からバケツで水を吸い上げて測定していたのです。当然、後者の方は熱が逃げるために温度が低くなる。このような理由により、温度が下がったということになる。つまり、バイアスがかかった結果になっているという事です。



【図表 1】150年の地球気温変化と海面上昇

【図表 2】 福田ビジョン
2050年目標と2020年目標案



注：
1. ここでは、いずれも目標年まで一定削減率で削減を仮定している
2. 2020で京都議定書同様森林吸収+京都Mを目標に上乘せると、60%削減ラインとのギャップのほぼ半分が埋められる

発表し、低炭素社会へ向けて動き出しています。こうした状況の中、2010年の京都目標が目前に迫っています。したがって、日本としては、中期

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change の略：気候変動に関する政府間パネル) では、人間の出す温室効果ガスが温暖化の原因だと認定している。科学者、気象学者、総勢1000人近いたちが、そう言っている。それにも関わらず、懐疑論を支持して何もせず、温暖化がますます進み、私たちの子孫が大変な被害を受けた場合、私たちはその責任を取れるのでしょうか。このリスクを考えると、やはり温暖化に対して対応策を取るべきだということになります。懐疑論は懐疑論として、科学的にきちんと対応していくことが大事だとは思われますが、やはり温暖化の原因は温室効果ガスであり、今現在、その現象が進行しているという事実を踏まえた上で、目標をたて、対策を考えていかなければ

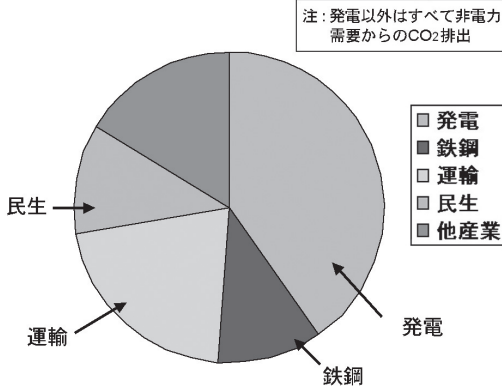
なりません。現在、議論されているのは、2010年の京都目標と2020年の中期目標です。これに加えて、2050年の長期目標に対しても、目標達成のための対策を検討していく必要があります。一部の学者は、産業革命以降の気温上昇が2度を越えようと手遅れの状態になってしまうと警告しています。この危機を回避するためには、2050年までに、世界全体で温室効果ガスの排出量を半分にする必要があるということ、EUは「世界半減提案」を2005年に掲げました。日本もこれに追随する形で、安部元首相が、2007年に「クール・アース50」美しい星50」という半減提案を出しました。さらに、その翌年の2008年には福田前首相が福田ビジョンというものを発表し、低炭素社会へ向けて動き出しています。こうした状況の中、2010年の京都目標が目前に迫っています。したがって、日本としては、中期目標を出来るだけ早く固める必要があります。これについては、麻生首相が09年6月末までに目標を定めると宣言しています。それに基づいて、内閣府では中期目標検討委員会を組織しています。ここでの目的は、中期目標そのものを決めるのではなく、中期目標に相応しい選択肢を検討し、首相に提案することです。2020年までの中期目標を考えると、二つのポイントがあります。一つ目のポイントは、長期に渡り温室効果ガスを大幅に下げなくてはならないため、長期の目標に対して整合的であり、矛盾しないものであるということ。二つ目のポイントは、2010年までに90年比で6%のCO2を減らすという京都目標があるため、2020年の目標となると、これよりも低い目標というわけにはいかないということです。いずれにしても、最も大切なのは、「実現可能性」です。目標を立てても、実現できなければ意味がありません。また、日本は省エネ先進国であるため、これ以上の省エネを進めるのは他国に比べ大変だという現実があります。したがって、何らかの方法で公平さを保ちながら取り組む必要があります。このように実現可能性、公平性を視野に入れた上で、選択肢の比較

をしなければなりません。

CO₂削減には費用がかかる

1トンのCO₂を減らすのに、どれくらい費用がかかるのか。EUでは、すでに排出権の取引が行われています。1〜2年前では、1トンあたり約20〜30ユーロでした。現在は、約10ユーロくらいになっていきます。一方、日本で90年比で数%削減すると、この一桁上の費用がかかります。こうした例を見ると、日本のCO₂削減に、どれだけ大きなコストを要するかということがお分かりいただけるかと思えます。

また、2020年7%減、15%減の考え方は京都議定書にも長期目標



【図表 3】日本のCO₂排出内訳 (03)

【図表 4-1】Cool Earth エネルギー革新技術

技術名	概要
革新的製鉄プロセス	コークス一部水素代替及び高炉ガスからのCO ₂ 分離回収 (CCS)
革新的材料・製造・加工技術	プラズマ利用硝子生産技術、コプロダクション生産プロセス、次世代半導体材料・製造・加工技術
高効率石炭火力発電	IGCCなど
CO ₂ 回収貯留 (COS)	
高効率天然ガス火力発電	複合サイクル発電
革新的太陽光発電	材料変化による飛躍的効率向上・低コスト化
先進的原子力発電	高速炉、次世代軽水炉、中小型炉
超伝導高効率発電	超伝導利用の大容量・低損失発電
省エネ住宅・ビル	新規断熱材料等による高断熱・遮熱、室内空気質改善技術
次世代高効率照明	高効率LED、有機EL、次世代照明
超高効率ヒートポンプ	従来より効率の高いヒートポンプ、高効率蓄熱

【図表 4-2】Cool Earth エネルギー革新技術-2

技術名	概要
定置用燃料電池	PEFC, SOFC等
省エネ型情報機器・システム	省エネ型ディスプレイ、省エネ型情報機器
HEMS / BEMS / 地域レベルのEMS	住宅・ビル、地域のネットワーク型エネルギー計測・管理を含む省エネ技術、分散エネルギーシステム連携技術
燃料電池自動車 (FCV)	
プラグインハイブリッド自動車 (PHEV)・電気自動車 (EV)	
バイオマスからの代替燃料製造	セルロース系バイオマスからの液体燃料製造
高度交通システム (ITS)	
高性能電力貯蔵	蓄電池利用技術、キャパシタなど
パワーエレクトロニクス	
水素製造・輸送・貯蔵	

にも整合します。したがって、これを実現するための対策を検討しているわけですが、中でも、CO₂削減に有効とされているものが、太陽光発電、次世代自動車、省エネ住宅、高効率給湯器などになります。15%減の案で考えてみましょう。太陽光発電でいうと、2020年までに3700万〜5600万キロワットを作らなくてはならない。現在わずか140万キロワットですから、20倍から40倍という、相当大変な数字になります。

次世代自動車(ハイブリッド車、電気自動車等)については、現在のス

トックは1%ほどしかありません。15%減のためには、新車の半分以上あるいは、すべてを次世代自動車にしなければなりません。

住宅については、現在最も新しい「平成11年基準」というものがありますが、新しい住宅の3割程度でしか守られていません。15%減のためには、これをすべての新しい住宅で守るようにしてもらい必要があります。

さらに、高効率給湯器(エコキュートなど)については、ほとんどの家庭におけるガスや電気の効率が10数パーセント以上良くなる給湯器にしていかなければなりません。こ

したことが前提条件となっていくわけです。つまり、15%減を実現するためには、それくらい思い切った努力が必要だということです。そして、それに伴う費用が必要だということになります。また、CO₂削減を考えた場合に、日本のCO₂排出内訳(03)が、発電で4割、鉄鋼で1割、運輸で2割、民生で1.5割となっていて、8割以上になっていきます。つまり、これら4分野で抜本的にCO₂削減ができれば、私たちは低炭素社会を作ることができるようになるわけです。

低炭素社会を作るための具体策① 太陽光発電とCCS

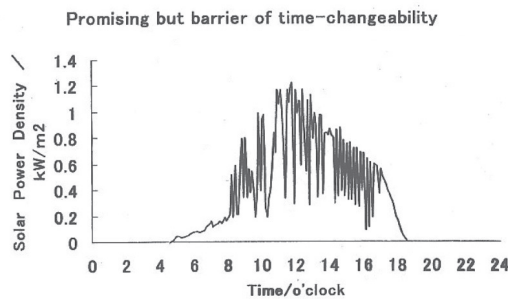
CO₂排出の4割を占める発電部門の低炭素化においては、いくつかの具体策があります。1つ目は太陽光発電。自然エネルギーは言うまでもなく、CO₂を発生させないソーラスです。しかしながら、太陽光発電には問題点もあります。それは、1日の中で、出力に変動があるという点です。雨の日は、ほとんど出力されません。晴れの日でも、雲が多ければ発電量は下がります。当然ことながら、夜は出力されません。しかし、需要は天気に関係なく存在する

特集

グローバル危機と
ものづくり産業再生への道筋

ため、そこを補うためには、やはり別のものを補完として考える必要があります。普通は、そこを火力発電に頼るのですが、そういう意味では太陽光発電がいくら増えても、火力発電を完全になくしてしまうことはできないということになります。また、時間的に出力の変動があると、需要と供給を常に一致させるため、自動的に周波数あるいは電圧が下がったときに、それを補う周波数調整といった系統型の対応が必要となります。これまでも、同様のことが火力発電では行われていました。

現段階でできることは、系統容量の5%程度（日本の系統容量が約2億キロワットなので約1000万KWの範囲）なら、調整が可能とな



【図表5】太陽光発電の一日の出力変動

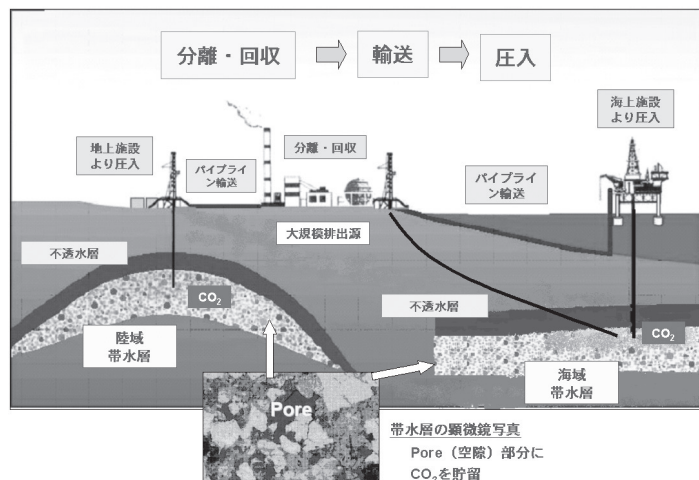
っています。逆に言うと、現在の太陽光発電の約10倍を加算してしまうと、今のやり方では系統が対応できない。したがって、何らかの形で出力の変動を調整する必要がある。だからといって、火力発電所を新しく作るわけにはいきませんので、結局バッテリーでチャージをするということになります。つまり、大量のバッテリーが必要になる。これが、相対に大きなコストとなる。また、太陽光発電は、太陽さえ出していれば発電しますが、人間のほうには休みの日とそうでない日がある。つまり、休みの日は工場などでの電気の需要が激減する。こうした理由からも、電力の需要が低いときに太陽光発電で出力されるエネルギーは、バッテリーに溜めておき、平日の工場稼働時に使用するといった工夫が必要となります。このように、太陽光発電の拡大には、単なる発電コストが高いだけではなく、後利用するためのコストが想像するよりはるかに高くなるという問題があります。したがって、バッテリーをいかに安くするかという点と、何らかの形で、より安定性のある自然エネルギーを探ることが今後の課題となっ

ています。逆に言うと、現在の太陽光発電の約10倍を加算してしまうと、今のやり方では系統が対応できない。したがって、何らかの形で出力の変動を調整する必要がある。だからといって、火力発電所を新しく作るわけにはいきませんので、結局バッテリーでチャージをするということになります。つまり、大量のバッテリーが必要になる。これが、相対に大きなコストとなる。また、太陽光発電は、太陽さえ出していれば発電しますが、人間のほうには休みの日とそうでない日がある。つまり、

対応種類	バックアップ設備の必要(火力)	系統周波数制御(LFC)バックアップバッテリー	低需要時過剰出力用バッテリー
対応内容	PVなしの場合と同一設備が必要	20分以内平均化	春秋週末Goldenweek等での過剰出力
コスト(PV50-60GW)	火力設備コスト10~15円/kwh	バッテリーコスト数千億円/年	バッテリーコスト数兆円/年

【図表6】太陽光発電(PV)系統連携時の付加コスト

ています。発電部門における、また別の具体策については、これまでの説明から、単純に火力発電を減らすわけにはいかないことがお分かり頂けたと思います。しかし、火力発電は絶対的にCO₂を出します。これを減らすために、最近注目されているのが、CO₂を地中に貯留する方法(CCS)です。これは1966年に、ヨーロッパ・ノルウェーの天然ガス田(北海スレイプナー)で随伴ガスとして出るCO₂を回収し、地中に



【図表7】CO₂地中貯留(帯水層貯留)技術の概要

埋めたという経緯があります。現在までの実施例は、天然ガスの随伴ガスとしてのCO₂の貯留が大半ですが、今後は、さらに色々なことができそうです。

昨年9月には、ドイツで初めて、石炭火力で出るCO₂を排煙から回収し、地面に埋めるということが始められました。ご存知のように、炭素と水素の塊が石炭なので、これが燃やされれば、CO₂とH₂Oだけになるので、容易にCO₂が分離できるといわけです。この方法だと

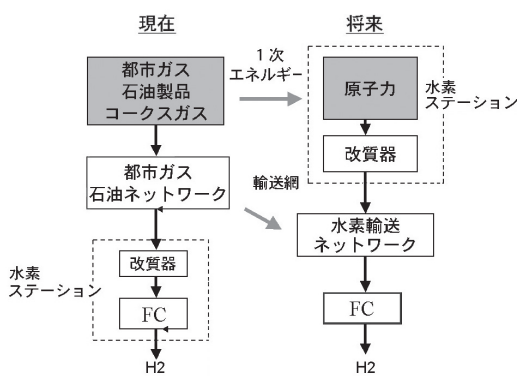
比較的安いコストでCO₂が回収できます。それを、枯渇した天然ガス田に埋めるというわけです。世界的には、同様のことが北米・ヨーロッパ・オーストラリアでも予定されています。大きいところでは年間500万トンのCO₂を地中に埋める予定があるということです。

日本で実施するには、現段階では人口が多いため、陸上でどうにかすることは難しい。したがって、大陸棚を中心に貯留場所を探す方式でやっています。そのポテンシャルは高く、年間で約1460億トン（日本の排出量の120年分）はあると考えられています。この排煙からCO₂を分離し地中へ貯留するCCSという方法を使えば、火力発電が今までどおり使うことができる上、CO₂は出さないということになるので、世界的に大きな関心を集めています。ただ、やはりコストの問題と貯留場所の問題があります。コスト面で最も高いのは、回収コストです。現在、回収の方法が色々と研究されていますが、従来からの方法である化学吸収法に加え、膜分離あるいは物理吸着という方法なども検討されています。できるだけ安く、しかも小さなエネルギーで、簡単に回収ができる方法が世界中で研究さ

れています。

低炭素社会を作るための具体策② 自動車の低炭素化

低炭素社会を作るための具体策の2番目としては、自動車の低炭素化があります。これは運輸部門における低炭素化のための具体策です。言うまでもなく、ハイブリッド車あるいはプラグインハイブリッド車のように、電気を主なエネルギーとした次世代自動車にしていく必要があります。ただ、これだけでは当然足りないので、さらにFCV(燃料電池自動車)を導入する必要があります。この場合、やはり課題があります。燃料電池自動車の場合、燃料電池のコストが最大の課題です。燃料電池



【図表 8】 水素エネルギーシステム構成の移行

は、現在まだ高い。これを安くする方法として、触媒に使っている白金を炭素に代替するという考え方が出ています。これが可能になると、10分の1くらいに値下げできるという話が、数日前の新聞にも出ていました。

もう一つは、水素そのものをどう作ったら良いかという課題です。現段階では水素のほとんどを化石燃料から作っているのですが、これでは本当の意味での脱炭素にならない。やはり、非化石燃料を資源として作らなければならない。そこで、現在注目されているのが原子炉の高温ガス（約900度〜950度）を使い、この熱によって化学分解する方法です。高温を利用し、水を分解して水素を作る。実験的にはすでに始まっています。これにより、現段階では約40%近い効率で、水から水素が作れるということが分かっています。こうした非化石燃料から水素を作ることが大きな課題です。それと同時に、水素の場合の大きな問題点は、インフラ整備の問題があります。現在は化石燃料から水素を作っているため、分散型で都市ガスあるいは石油ネットワークの末端で小さなプラントを作り、水素を作ることが可能になっていますが、将来を考え

ると、このやり方では無理です。高温ガスで水素を作るときに、小さなプラントのあちこちで少量ずつ作るのは現実的ではありません。やはり大型のプラントを作り、そこで集中的に水素を作り、分配する方法になります。ただ、そうすると、水素を配送するインフラ整備に相当な費用がかかり、これも課題の一つになっています。

低炭素社会を作るための具体策③ 民生需要の省エネルギー化

低炭素社会を作るための具体策の3番目としては、民生需要の省エネルギー化があります。CO₂排出内訳の1/5割を占めている民生については、そのほとんどが電力と低温熱のために発生しています。低温熱というのは暖房と給湯（お風呂）です。電力のほうは、さきほど申し上げた発電の努力で対応できるので、問題は低温熱をどう供給するかです。これまでは、石油と都市ガスあるいはLPGでやっています。これを、やはり自然の熱源で対応するべきだということになります。現在、いわゆるエコキュートなどの形で色々なものが出てきていますが、それだけではなく、特に、ヒートポンプを使った自然エネルギーの利用というのが大事にな

特集

グローバル危機と
ものづくり産業再生への道筋

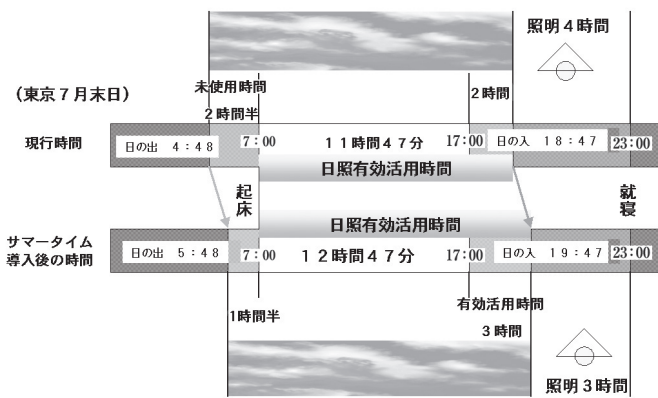
ります。

電力会社が現在やっている、高効率給湯器というのがヒートポンプ利用を指しています。冬は温度が低い
ため、給湯の効率が悪い。それを温
度をもっと高い低温熱源を使えば、
ずっと効率が良くなる。これは海外
ではだいぶ増えてきていて、ひとつ
は、湖や海の水を利用する方法。そ
れに加え、地中熱を利用する方法も
あります。北海道にあるヒートポン
プを導入した実験家屋では、必要な
エネルギーの4割を土壤熱で供給
できています。土壤熱を利用したヒ
ートポンプは世界的には増えていま
す。アメリカでは50万戸、一方日本
では普及しているように言われてい
ますが、こうした新しい方式になる
と、日本は構造物の価格が高いため
に意外と普及していません。今後は、
こうした面からの努力も必要です。

低炭素社会を作るために
最も重要な
「社会の行動変化」

こうした様々な対策技術も、「社会の行動変化」があつてこそ意味を成します。それはつまり、①無秩序な自由を規律化することです。例えば、アイドリングストップに関して、規制として導入している国もありま

す。日本でもアイドリングストップが車のほうで自動的に行われるよう規律化すれば、低炭素社会へ向けて大きく前進できるでしょう。もう一つは、②システムの導入の問題です。もつと色々な形で自然を有効利用しようということ。その典型例がサマータイム制の導入です。これには非常に古い歴史があり、1908年にイギリスで始まっている。ご承知のように、明るい夏は時間を1時間早めるというものです。これは、エネルギー的にも得だし、人間の活



【図表9】サマータイムと現行時間

需要(主要)	省エネルギー(万kl)
家庭照明需要	47
家庭冷房需要	△6(増加)
業務冷房需要	11
北海道東北暖房需要	2
業務照明・ガソリンスタンド	14
公共ナイター	4
その他	7
自動車照明	10
需要(主要)	93

【図表10】サマータイム 省エネルギー効果

動も色々な意味で有効利用できることになります。世界的には広く普及し(世界70カ国以上で導入)、先進国で導入していないのは日本だけです。サマータイム制の効果というのは、先ほども申し上げたように①照明を中心とするエネルギー需要の低減、ということだけではなく、②夕方における余暇利用の拡大、③治安向上(特に女性や子どもに効果あり)、そして、私が個人的に効果として大きいと考えるのは、④生活合理化の意識がひろがること、です。

こうした効果が見込めるサマータイムを導入した場合、どれくらい省エネ効果が見込めるかというと、量としては石油換算の合計でせいぜい100万キロワット程度にしかありません。しかし、それが持つ、波及効果を考えると、こうしたシステムを広げるということは、将来の低炭素社会へ向けて非常に重要なことだといえます。サマータイムを含め、「社会の行動変化」なくして、低炭素社会を目指すことは出来ないといつても過言ではありません。そして、「社会の行動変化」も、まずは私たち一人ひとりの意識改革からです。低炭素社会の実現を目指し、日本の国民一人ひとりが高い意識を持つていただきたいと念願しています。

(文責・編集 金属労協組織総務局)

茅 陽一 (かや・よういち)

57年東京大学工学部電気工学科卒。62年同数物系大学院修了・工学博士。同大学工学部講師、助教授を経て78年同工学部教授となり、95年に退官後、慶応大学大学院教授を経て、現在、(財)地球環境産業技術研究機構・副理事長/研究所長、(独)科学技術振興機構・原子力研究開発運営統括。専門はエネルギー・環境システム工学。主な著書：『低炭素エコノミー』(日本経済出版社、2008年)、『地球時代の電気エネルギー』(日経サイエンス、1995年)他多数。